CAPÍTULO 7

Possíveis Impactos das Mudanças Climáticas Sobre o Zoneamento Agrícola de Risco Climático da Cultura da Soja no Estado do Tocantins

Balbino Antonio Evangelista[1], Leonardo José Motta Campos[2], Fernando Antônio Macena da Silva[3], Jones Simon[4], Isabella Lopes Ribeiro[5], Telma Maria do Vale[6]

[1]Geógrafo, Pesquisador Doutor da Embrapa Pesca e Aquicultura, [2]Engenheiro Agrônomo, Pesquisador Doutor da Embrapa Soja, [3]Engenheiro Agrônomo, Pesquisador Doutor da Embrapa Cerrados, [4]Engenheiro Agrônomo, Pesquisador Doutor da Embrapa Pesca e Aquicultura, [5]Engenharia Ambiental e Sanitária, Bolsista de DTI/CNPq na Embrapa Pesca e Aquicultura, [6] Engenheira Ambiental, Mestre em Agroenergia e Pesquisadora-Bolsista DTI na Embrapa Pesca e Aquicultura

1 - Introdução

O Tocantins que integra a região do MATOPIBA, atualmente, considerada como a nova fronteira agrícola do Brasil, contribui com a maior extensão de terras desta região, com aproximadamente 92% do seu território. Nesta região, a cultura da soja tem se destacado e transformado rapidamente sua paisagem. Importante fonte de divisas, visto que contribui em parte com as exportações brasileiras, além de tudo o grão é responsável por grande parte do fornecimento de proteína para animais, e de óleos para a indústria.

No Estado do Tocantins a produção de grãos foi crescente no período de 1988 a 2018, com previsão de 4,6 milhões de toneladas para a safra 2017/2018, tendo a soja como principal cultura explorada (CONAB, 2018). Nos últimos anos, o crescimento do cultivo de soja foi muito significativo, atingindo mais de 1500%, quando considerado o período entre as safras de 2000/01 a 2016/2017, das quais, a área de produção passou de 60 mil hectares para 940 mil hectares, respectivamente. E em seu 4º Relatório do Levantamento de Safras do Tocantins, o Estado apresenta índices de 972,19 mil hectares de área plantada, produção de 1.326,54 mil toneladas. e produtividade média de 3.154 $kg.ha^{-1}$, referentes à soja de sequeiro.

O clima no Tocantins é caracterizado por uma estação chuvosa, que ocorre nos meses de outubro a abril; e pela estação seca, que se estende de maio até setembro (ASSAD, 1994). O Estado apresenta ampla extensão latitudinal e relevo de altitudes baixas e pouco variáveis, entre 200 metros e 600 metros. Ao norte do

VISIT…

LANZAROTE Caliente.COM

paralelo 6^{0}S, região conhecida como Bico do Papagaio, de vegetação típica do bioma Amazônico, o clima é úmido, sem inverno seco, com temperatura média anual em torno de 26^{0}C e as precipitações pluviométricas entre 1.500 mm e 2.100 mm. Ao Sul do paralelo 6^{0}S, o clima predominante é subúmido (KÖEPPEN, 1948), os meses chuvosos e os secos se equilibram e as temperaturas médias anuais diminuem lentamente na medida em que se eleva a altitude, com temperaturas médias anuais variando entre 23^{0}C (altitudes acima de 600 metros) e 27^{0}C e chuvas entre 900 mm e 2100 mm anuais (LUMBRERAS *et al.,* 2015).

A contribuição indireta da cultura da soja na movimentação da economia de Tocantins, seja pela geração de empregos ou pela adição de valor ao produto industrializado, tem sido um dos principais alicerces para o desenvolvimento do Estado. Incrementos nos rendimentos e redução dos custos e dos riscos de insucesso passaram a serem exigências básicas à competitividade. O aumento de eficiência no uso de recursos e de insumos, a melhora qualitativa dos produtos agrícolas e a preservação dos recursos naturais, são desafios da sustentabilidade da moderna agricultura.

Por outro lado, evidências científicas contemporâneas têm advertido para anomalias na temperatura e nos padrões de precipitação, com consequências diretas nas atividades humanas e, especialmente, naquelas relacionadas à produção agrícola (IPCC, 2007). As consequências das alterações climáticas poderão variar entre as regiões brasileiras. As regiões Norte e Centro-Oeste podem ser significativamente prejudicadas pela mudança climática. Isto é algo esperado, já que em ambas as regiões a produção é realizada sob condições de alta temperatura.

O impacto global das mudanças climáticas projetado para o período 2040-2069 poderá resultar em perdas de lucro agrícola entre 0,8% e 3,7%. Os impactos são consideravelmente mais graves, porém, para o clima projetado para 2070-2099, a redução estimada de lucro agrícola poderá atingir até 26% (DESCHENES; GREENSTONE, 2007).

De modo geral, as evidências empíricas dos estudos acima indicam que o saldo do impacto líquido da mudança climática sobre a agricultura brasileira é negativo, embora haja diferentes consequências a nível regional. No entanto, esses estudos apresentam algumas limitações importantes. Incertezas sobre a dimensão desse fenômeno implicam, entre outros, na necessidade de estudos com modelagem e análise de dados visando à avaliação dos possíveis impactos das mudanças climáticas sobre a cultura da soja em Tocantins.

Muitos estudos têm sido realizados com o objetivo de possibilitar a compreensão dos processos de crescimento e desenvolvimento de plantas, permitindo uma descrição e análise dinâmica dos processos envolvendo fatores ambientais e seus efeitos no desenvolvimento e produção das culturas

(EVANGELISTA *et al.*, 2013). Nesse contexto, o zoneamento agrícola de risco climático (ZARC) é um desses Instrumentos, adotado especialmente pela política agrícola para subsidiar os agricultores e as políticas públicas que visam reduzir risco e contribuir para a sustentabilidade e o aumento da produtividade das lavouras. Isto porque o ZARC delimita as áreas de risco e indica as janelas de semeadura da soja (e outras culturas) nas regiões com baixo risco de ocorrer perdas de rendimento por adversidades do clima, como seca, por exemplo.

Este capítulo é oportuno e de extrema relevância no contexto atual. Pois, ele pode representar parte do avanço significativo na compreensão da natureza dos impactos climáticos futuros sobe a geografia da produção da cultura da cultura da soja, que representa um dos principais produtos agrícolas do Tocantins. Ele também apoiará o Estado em ações de adaptação dos sistemas de produção de alimentos para uma rápida mudança do clima, visando garantir a segurança do abastecimento alimentar e a estabilidade política.

Exigências ambientais e climáticas da cultura da soja

Estudos indicam que para produzir satisfatoriamente, a cultura da soja necessita de entre 450 mm e 800 mm de água durante o seu ciclo de desenvolvimento, dependendo não só das condições de temperatura da região, mas também do manejo, da data de semeadura e das características da cultivar. Por outro lado, o bom desempenho desta cultura depende do volume de água adequado e também de uma boa distribuição das chuvas ao longo do ciclo de desenvolvimento, para satisfazer suas necessidades, principalmente, durante as duas fases mais críticas do seu ciclo, que são a germinação-emergência e a floração-enchimento de grãos (estádio R1 a R5), quando chega a consumir entre 7 e 8 mm de água por dia (RODRIGUES *et al.*, 2001).

A faixa de temperatura na qual a cultura da soja melhor se desenvolve varia entre 20ºC e 30ºC, sendo 28ºC a condição ideal. Após a semeadura, a temperatura ideal para uma emergência rápida e uniforme é de 25ºC. Sob condições inferiores a 10°C, tanto o crescimento vegetativo quanto o rendimento da soja são reduzidos ou nulos, caso a temperatura alcance médias negativas. As cultivares brasileiras, de forma geral, apresentam desenvolvimento a partir da temperatura mínima de 13ºC. Estudos indicam que para a produção de sementes com qualidades fisiológica e sanitária superiores, recomendam-se regiões com temperaturas do ar mais amenas, ou seja, inferiores a 22ºC durante a fase de maturação da cultura (CÂMARA, 2000).

A temperatura está relacionada à taxa de crescimento da cultura, influenciando a respiração e a duração do ciclo. A alta temperatura, bastante comum no Tocantins, pode reduzir o período de enchimento de grãos e elevar a taxa respiratória, levando a uma menor produção de biomassa. Os estudos com alta

temperatura relatam alterações na estrutura da planta, na produção e integridade de proteínas, fechamento dos estômatos, abortamento de flores e vagens e com isso, reduzir o rendimento (HASANUZZAMAN *et al.*, 2013). Os efeitos negativos da alta temperatura são difíceis de ser evitados, e tem influenciado negativamente a produção de soja.

Outro importante elemento do clima que afeta a produção de soja é a radiação solar. Sua qualidade e quantidade influenciam diversos processos fisiológicos da soja, a maioria já citados pouco antes, porque radiação e temperatura apresentam relação estreita. Todavia, as plantas de soja possuem mecanismos de proteção ou defesa para evitar a saturação luminosa, tais como alteração no ângulo foliar (o que reduz a incidência solar), mesófilo mais desenvolvido e espesso, e índice estomático adaxial e abaxial (CASAROLI *et al.*, 2007).

O comprimento do dia, conhecido como fotoperíodo, também exerce forte influência sobre a planta de soja. Em épocas de fotoperíodo mais curto, durante a fase vegetativa da planta, o florescimento precoce pode ser induzido e provocar queda de produção. Logo, em maior ou menor escala, a indução ao florescimento da soja, na grande maioria das cultivares, é determinada pelo fotoperíodo e é modulada pela temperatura. Em geral, regiões de menores latitudes ou semeadura tardia com maior comprimento do dia, ocorrem florescimento precoce, plantas de porte baixo, menor índice de área foliar e menor produtividade (KERBAUY, 2004; CASAROLI *et al.*, 2007).

Como vimos, estudos apontam que a disponibilidade de água, temperatura, radiação solar e fotoperíodo estão entre os principais fatores responsáveis por determinar os máximos rendimentos na produção de soja. Na maioria das vezes, as plantas estão expostas a um determinado grau de estresse, provocado pela ausência de condições ideais de um ou mais fatores ambientais, o que resulta em redução da produtividade. Mas, prejuízos causados pela combinação de fatores de estresse podem ser ainda maiores, especialmente se causados pela combinação de seca e calor, até seis vezes maiores que prejuízos causados por seca isoladamente. Mas também é fato que veranicos prolongados, não raros no Tocantins, podem causar perda total das lavouras, quando ocorrem com intensidade durante a fase ou processo de florescimento e enchimento de grãos, especialmente aquelas sob solos arenosos ou pedregosos, de baixa capacidade de retenção de água. Para aqueles com pretendem avançar em conhecimento sobre as relações entre as relações entre as variáveis de solo e clima sobre a cultura da soja, recomenda-se consultar Boyer (1982), Mittler (2006), Streck; Alberto (2006), Jaleel *et al.* (2009), Manavalan *et al.* (2009), Tran; Mochida (2010), Farias (2011) e Deshmukh *et al.* (2014).

Em suma, para a cultura da soja, a disponibilidade hídrica durante o ciclo é considerada a principal condicionante da produtividade, pois, pode afetar desde

a germinação até o florescimento, enchimento de grãos e qualidade da semente. Se adversidades na temperatura, precipitação, luminosidade, entre outros, podem reduzir o rendimento da cultura, estudos têm sido direcionados no sentido de se obter plantas mais adaptadas às condições de estresse, bem como, boas práticas de manejo de solo e de água, como o plantio direto e o uso do gesso agrícola para aumentar do perfil do solo a ser explorado pelas raízes da soja, tem sido utilizadas visando minimizar os riscos causados pela variabilidade climática.

Os estudos que contemplam as relações solo-clima-planta, procurando indicar o melhor entendimento dos processos envolvidos na produção vegetal, tais como: as melhores datas de semeadura considerando-se os diferentes padrões pluviométricos e de solo, as probabilidades de risco de perda de rendimento em função da deficiência hídrica e quais as localidades de maior potencial para o desenvolvimento dos cultivos frente à variabilidade dos fatores climáticos, tem sido de grande importância para os produtores, agentes financiadores e tomadores de decisão da política agrícola nacional.

Nesse contexto, o zoneamento agrícola de risco climático tem sido de fundamental importância, pois se tornou, ao longo dos anos, numa ferramenta eficiente para o sistema de suporte a tomadas de decisão, tanto na definição de uma política agrícola que fortalece a sustentabilidade do sistema de produção, como no aconselhamento técnico aos produtores, aumentando-lhes a possibilidade de menor risco de perdas e de melhor eficiência do capital investido na atividade agrícola.

Zoneamento de agrícola de risco climático: conceitos e objetivo

Ao optar por uma determinada época de semeadura, o produtor deve considerar o ciclo da cultura, o tipo de solo e a variabilidade dos elementos do tempo e clima na sua região, especialmente o volume e distribuição das chuvas. Esta decisão pode ser considerada uma das mais difíceis e importantes para o produtor, e poderá resultar em elevado ou reduzido rendimento da soja, ou seja, o lucro ou prejuízo da sua atividade. Ao longo dos anos, a agrometeorologia gerou grande volume de conhecimento técnico-científico de importância para a produção agrícola, porém nem todo ele foi convertido em tecnologia ou conhecimento de fácil aplicação no meio rural e nas políticas públicas. No Brasil, parte desse conhecimento foi traduzido em metodologia de estudos de risco climático aplicado na agricultura, também conhecido como "Zoneamento Agrícola do Brasil".

O zoneamento agrícola tem sido utilizado como um instrumento de política agrícola e de gestão de riscos na agricultura. Como política pública, tem como objetivo indicar datas ou períodos de plantio/semeadura por cultura e por município, considerando as características do clima, o tipo de solo e ciclo da cultivar, de forma

a evitar que adversidades climáticas coincidam com a fase mais sensível das culturas, minimizando as perdas agrícolas.

A partir do Ano-Safra 1996/97, o zoneamento de risco climático passou a ser operacionalizado pelo Ministério da Agricultura, Agropecuária e Abastecimento - MAPA para subsidiar a liberação de crédito agrícola amparado pelo Programa de Garantia da Atividade Agropecuária – PROAGRO. Anos depois foi também adotado pelo PROAGRO MAIS, do então Ministério do Desenvolvimento Agrário – MDA, provedor e gestor das políticas voltadas para a agricultura familiar. A partir de então, esse instrumento passou a contribuir significativamente para o aumento da produção agrícola nacional, na medida em que o agricultor passou a semear na época indicada para o menor risco de perda e, com isso, foram reduzidas as perdas agrícolas em decorrência da variabilidade do clima. Ainda, passou a ser também um indutor de tecnologia na medida em que condiciona o acesso ao crédito ao uso de sementes registradas e certificadas, e à redução da alíquota do premio do seguro rural para o agricultor que adotar a tecnologia de plantio direto.

Para realização do zoneamento agrícola de risco climático para a cultura da soja no Tocantins, foi utilizado um sistema de análise regional dos riscos agroclimáticos – SARRA (BARON *et al.*, 1996), traduzido do francês (Systeme d'Analyse Regionale des Risques Agroclimatiques). É definido como um modelo empírico e simples, que simula o desenvolvimento da planta em função do consumo de água e disponibilidade hídricas do solo. O modelo SARRA incorpora funções relativas ao sistema solo-clima-planta por regressão matemática, mas requer um número reduzido de variáveis de entrada, quando comparado aos modelos denominados mecanísticos (de processos, e complexos), o que permite a sua aplicação numa escala regional.

Por meio deste sistema, é realizado o balanço hídrico da cultura, como forma de estimar o atendimento às necessidades de água da planta em seus períodos críticos como semeadura – germinação e floração – enchimento de grãos (reprodutivo), por meio da interação entre a oferta de água das chuvas, a capacidade de água disponível (CAD) dos solos, da reserva útil máxima de do perfil do solo explorado pelas raízes da planta, bem como da demanda de água e tolerância à restrição hídrica da cultura da soja.

É importante entender que, por se tratar de um modelo agroclimático, parte-se do pressuposto que não haverá limitações quanto à fertilidade dos solos e danos às plantas causados por pragas e doenças; e que o produtor conhece o sistema de produção e utiliza as tecnologias de cultivo e boas práticas que permitem obter o rendimento potencial da cultivar semeada.

Ao SARRA são incorporados os dados diários de chuva e evapotranspiração de referência da rede de estações climatológicas disponíveis no estado. Dos solos

são utilizados dados físico-hídricos como profundidade, água disponível (AD) e reserva útil de água na zona radicular (RUR). E da cultura da soja, os dados de fisiologia como coeficiente de cultura (Kc), duração média do ciclo dos grupos de cultivares (precoce, médio e tardios) e de suas respectivas fases fenológicas e profundidade efetiva do sistema radicular.

Para os estudos de ZARC os solos são reclassificados pela textura ou características físico-hídricas, especialmente a capacidade de retenção de água, sendo apresentados em três grupos. O conjunto de solos de textura arenosa apresenta teor de argila entre 10% e 15%, menos de 70% de areia, com variação de textura no primeiro horizonte, e Capacidade de Água Disponível (CAD) entre 0,4 $mm.cm^{-1}$ e 0,7 $mm.cm^{-1}$; apresentam baixa capacidade de retenção de água e são denominados de solo Tipo 1. Nos solos Tipo 2 estão agrupados aqueles que apresentam textura média, com teores de argila entre 15% e 35 % e menos de 70% de areia, Capacidade de Água Disponível (CAD) entre 0,7 $mm.cm^{-1}$ e 1 $mm.cm^{-1}$, e têm como característica físico-hídrica apresentar média capacidade de retenção de água. Os solos Tipo 3 são colocados no grupo daqueles de classe de textura argilosa, tendo como características físico-hídricas alta capacidade de retenção de água, isto apresentar teor de argila acima que 35%, menos de 15% de areia e capacidade de água disponível (CAD) maiores que 1 $mm.cm^{-1}$.

Por se tratar do balanço hídrico da cultura, considera-se a capacidade média de agua disponível (CAD) de cada grupo ou tipo de solos e também a profundidade efetiva das raízes da soja em 50 cm, ou seja, o perfil do solo com disponibilidade de água a ser explorado pela planta. Com isso, estimou-se a CAD dos solos Tipo 1 em 35 mm, dos solos Tipo 2 em 55 mm e dos solos Tipo 3 em 75 mm.

Os cultivares registradas no Serviço Nacional de Registro de Cultivares (SRNC/MAPA, 2018) foram classificados e agrupados, e foi estabelecida uma duração média dos ciclos produtivos e fases fenológicas para o grupo dos precoces, de ciclo médio e os tardios, conforme apresentado na Tabela 1, e os coeficientes de cultura estimados para a soja estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 1 - Duração média do ciclo e respectivas fases fenológicas (em dias) da cultura da soja

Grupo/Ciclo	Fase I	Fase II	Fase III	Fase IV	Colheita
	Emergência	Vegetativa	Formação grãos	Maturação	
Grupo I	10	35	40	30	115
Grupo II	10	40	45	30	125
Grupo III	10	45	50	35	140

Tabela 2 - Coeficientes de Cultura (Kc) estabelecidos para períodos de dez dias (decêndios) durante o ciclo da cultura da soja

Ciclo	Períodos decendiais													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Grupo I	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.5	1.4	1.2	0.9	0.8	0.8		
Grupo II	0.4	0.6	0.7	0.8	1.0	1.2	1.4	1.5	1.4	1.3	1.2	0.9	0.8	
Grupo III	0.4	0.6	0.7	0.8	1.0	1.1	1.2	1.4	1.5	1.4	1.3	1.2	0.9	0.8

Das simulações de balanço hídrico da cultura, são obtidos diferentes indicadores de oferta e demanda hídrica, representados neste estudo pela evapotranspiração real (EtR) e evapotranspiração máxima da cultura (EtM), respectivamente. A partir da relação EtR/EtM obtém-se o índice de satisfação das necessidades de água (ISNA) da cultura, para cada uma de suas fases de desenvolvimento. As simulações são realizadas para cada localidade representada pelos postos climatológicos (ou pluviométricos). A definição das áreas de baixo, médio e alto risco climático, bem como do estabelecimento da janela de semeadura com baixos riscos de perdas de rendimento é associado à ocorrência ou não de déficit hídrico nas fases de semeadura/emergência (fase I) e de formação dos grãos (floração/enchimento), consideradas como as mais críticas ou sensíveis à restrição de água para que a cultura possa expressar sua produção potencial.

A análise frequencial é a função matemática e estatística de risco utilizada para estabelecimento da frequência de ocorrência (ou não) de deficiência hídrica nas fases sensíveis da lavoura. São obtidos os ISNAs apresentados no 8º decil da distribuição de frequências, ou seja, análise frequencial de 80%. Os valores obtidos nessa frequência representam 80% ou mais de todos os valores da série e inferiores a apenas 20% deles. Como exemplo, quando simulado a semeadura da soja de ciclo precoce em um solo Tipo 2, e obtém-se ISNAs da análise frequencial de 80%, significa que este índice ocorreu em pelo menos 80% dos anos da série de 30 anos de medidas do clima de um determinado local. Ainda, se o índice apresentado na Fase I for $\geq$ 0,50 e na Fase III for $\geq$ 0,60, significa que em pelo menos 24 dos 30 anos, a planta não sofreu restrição hídrica nas fases de semeadura, germinação e também na fase produtiva, caracterizando um cenário de baixo risco. O ISNA é variável entre 0 e 1, onde 0 significa oferta hídrica nula e 1, 100% de atendimento da demanda hídrica da soja, ou seja, da evapotranspiração máxima da cultura (EtM).

Análise espacial e mapeamento dos índices de satisfação das necessidades de água (ISNA) da soja.

Esta etapa consiste da sistematização e georreferenciamento dos índices de satisfação das necessidades de água (ISNA) obtidos a partir do modelo agroclimatológico SARRA. Conforme apresentado anteriormente, são realizadas simulações de época de semeadura para os 36 decêndios (períodos de dez dias) do ano, selecionando-se alternadamente o ciclo da cultura e o tipo de solo. Os resultados são apresentados em um arquivo de saída no qual estão listadas todas as estações pluviométricas com o seus respectivos ISNAs para cada fase fenológica.

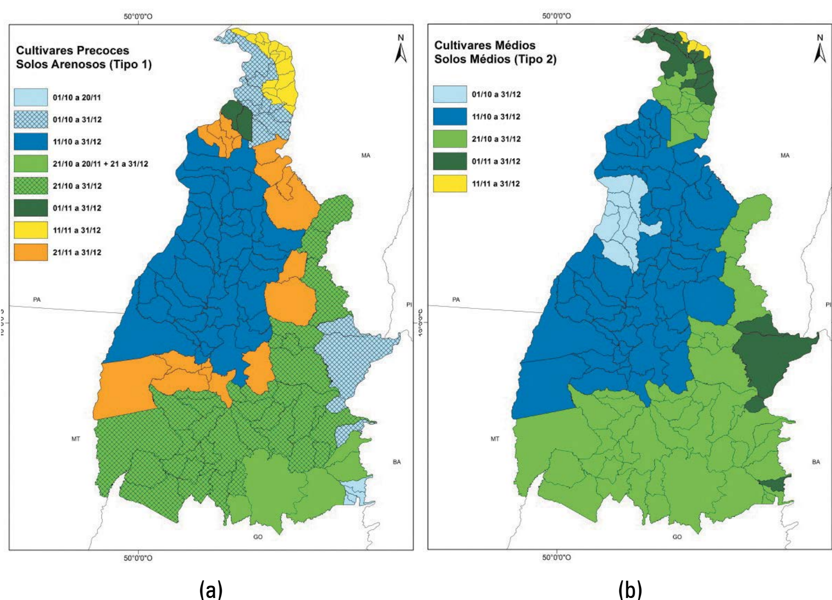
Como cada posto climatológico ou pluviométrico apresenta sua localização por meio das coordenadas geográficas (latitude e longitude). Para georreferenciamento e interpolação dos índices, utiliza-se um sistema de informações geográficas (SIG), como, por exemplo, o ArcMap, da ESRI, e o SPRING, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Nesses sistemas estão contidos os estimadores espaciais, que são funções matemáticas estatísticas e geoestatísticas que permitem estimar o ISNA para cada ponto da superfície por média ponderada dos valores das estações vizinhas, e com isso, construir uma grande regular de pontos, normalmente com resolução espacial de 1km. A conversão desta grade em mapas de risco e constituição de sua respectiva legenda é feita com a classificação dos ISNA e apresentados em três classes de risco: i. a classe de alto risco representa as regiões de ISNA $\leq$ a 0,5; ii. Classe de médio risco representa as regiões com ISNA de maior que 0,5 e menor que 0,6; e iii. a classe de baixo risco que representa as regiões com ISNA $\geq$ a 0,6.

Desta forma são gerados os mapas com indicativo de risco climático para semeadura da soja de ciclo precoce, médio e tardio nos três tipos de solo. O mapa final de cada época de simulação de semeadura resulta do cruzamento dos mapas de ISNA das fases I e III, por meio de funções de álgebras de mapas, os estimadores ou interpoladores espaciais.

Zoneamento de risco climáticos da cultura da soja no Tocantins: Cenário atual

Os estudos de zoneamento agrícola de risco climático da cultura da soja atualmente são realizados por pesquisadores e técnicos da Embrapa. É enviado à Coordenação-Geral de Zoneamento Agropecuário (CGZA), do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), por meio de um relatório técnico e dispõe em seus anexos, de nove mapas de riscos e nove tabelas de épocas de semeadura, um para cada tipo de solo e grupo de cultivar. Deste relatório a CGZA elabora uma Nota Técnica que é publicada pelo Banco Central do Brasil (BCN) e disponibilizada a todas as instituições que atuam nos setores de credito, seguro rural e cooperativas de produtores. Pode também ser acessado por meio da página (site) do MAPA e do Agritempo (Sistema de Monitoramento Agrometeorológico).

Na Figura 1 apresentam-se as épocas ou janelas de semeadura da soja válidas para os cultivares de ciclos precoce cultivados em solos de textura arenosos (a) e também dos cultivares de ciclo médio cultivados em solos de textura média (b), cenários mais representativos das lavouras do Estado do Tocantins. Observa-se que de uma maneira geral, as datas iniciais de semeadura ocorrem no primeiro decêndio do mês de outubro e se estendem até final do mês de dezembro, período designado como safra principal ou primeira safra. A variabilidade temporal e espacial das chuvas, associada às diferentes capacidades de armazenamento de água dos solos, resulta em, pelo menos, nove diferentes períodos de semeadura para cultivares precoces nos solos arenosos e quatro janelas para cultivares de ciclo médio semeadas em solos de textura média; e que de maneira geral as janelas se iniciam na porção noroeste (01/10) e avançam no sentido sul e nordeste do Estado (21/11) (Figura 1).



Fonte: Adaptado de MAPA (2009)

Figura 1 - Zoneamento de risco climático da cultura da soja para o Estado do Tocantins, para indicação de épocas de semeadura de cultivares de ciclo precoce em solos arenosos ou Tipo 1 (a) e de cultivares de ciclo médio em solos de textura média ou Tipo (b)

Zoneamento de Risco Climático da cultura da soja no Tocantins: Cenário de mudanças climáticas

As mudanças climáticas podem alterar principalmente dois importantes elementos do clima, responsáveis por determinar o desenvolvimento e rendimento das culturas, que são a temperatura e chuva. A elevação da temperatura

já é observada, e com baixa incerteza estatística, em torno de 1ºC, e os modelos mais avançados em previsão climática já estimam elevações de até 2ºC já em 2040, no cenário RCP4.5 (otimista) e de até 3ºC no cenário pessimista (RCP 8.5) (IPCC, 2013). E para o final deste século esses valores poderiam chegar até os 4ºC no melhor cenário, e em até 7ºC no pior cenário, aquele que aponta para a manutenção da atual curva progressiva de emissões de GEEs.

Por outro lado, os resultados das simulações das alterações das chuvas ainda não apresentam o mesmo grau de certeza ou precisão das temperaturas, mas os modelos apontam para uma redução de chuvas entre 5% e 15% para o Estado do Tocantins até o final deste século (CHOU *et al.*, 2014).

E qual seria o impacto dessas elevações das temperaturas e prováveis reduções das chuvas no calendário de plantio e rendimento da cultura da soja no Estado do Tocantins. Para responder a este questionamento, reuniram-se aqui as informações já disponibilizadas pelos pesquisadores que atuam tanto nas previsões climáticas quanto aqueles agrometeorologistas responsáveis por estudar as relações entre as variáveis do clima e do solo e o cultivo da soja.

A partir do aperfeiçoamento dos modelos matemáticos que fazem previsões futuras do clima, simulando e estimando valores de temperatura e chuva com maior precisão (baixa incerteza) e maior confiabilidade, no quarto relatório de avaliação do impacto das mudanças do clima sobre o planeta (AR4), publicado em 2007 pelos pesquisadores do IPCC (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas) (IPCC, 2007), foi feito um alerta incisivo à população mundial e aos governantes das grandes potências econômicas e aos países mais poluidores da atmosfera sobre os riscos que as mudanças climáticas poderiam causar na vida das pessoas e do Planeta. O carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) seriam os maiores gases causadores do chamado efeito estufa (GEE) da atmosfera.

Neste relatório, nas observações relativas à agricultura, já advertiam que a região dos trópicos teria uma redução das chuvas e um encolhimento das terras para uso agrícola, com impacto no rendimento das lavouras, o que colocaria em risco a segurança alimentar. E que mesmo uma elevação de 1ºC a 2ºC na temperatura, já poderia afetar e reduzir a produtividade das culturas, sendo que a soja seria a cultura mais afetada. E os indicativos apresentados pelos pesquisadores da Embrapa e Unicamp em 2018 só veio confirmar essas previsões de cenários para a soja brasileira.

O mais amplo estudo realizado com o objetivo de avaliar o impacto das mudanças climáticas na agricultura brasileira ocorreu em agosto de 2008. Isto porque o mais recente relatório do IPCC (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas) previa que a produção de alimentos em todo o mundo poderia sofrer um impacto dramático nas próximas décadas por conta das mudanças climáticas provocadas pelo aquecimento global, e que o a agricultura do Brasil também seria

afetada já nas décadas seguintes. A pesquisa foi conduzida por pesquisadores da Embrapa e Unicamp, especialista em estudos de risco climático na agricultura, e foram utilizadas as mesmas metodologias empregadas para operacionalizar o zoneamento agrícola do Brasil, aplicados na política agrícola, especialmente para orientar a liberação de crédito amparado pelo seguro rural brasileiro, o Proagro e Proagro Mais.

Parte dessa equipe passa a avaliar também como o aquecimento global poderia afetar a agricultura brasileira e, em alusão ao ZARC, este estudo recebeu o nome de "Aquecimento Global e a Nova Geografia da Produção Agrícola no Brasil". Foram avaliadas nove culturas e entre elas, a soja. E neste estudo, optou-se por utilizar os dados de temperatura extraídos do modelo Precis (Providing Regional Climates for Impact Studies), desenvolvido pelo Centro Hadley, da Inglaterra, conhecida como uma das principais instituições que estudam as mudanças do clima no planeta. E foram adotadas as simulações relativas aos cenários A2 – o mais pessimista, que estima um aumento de temperatura entre 2^{0}C e $5,4^{0}$C até 2100; e o cenário B2, um pouco mais otimista, que previa um aumento de temperatura entre $1,4^{0}$C e $3,8^{0}$C até o final deste século (IPCC, 2003).

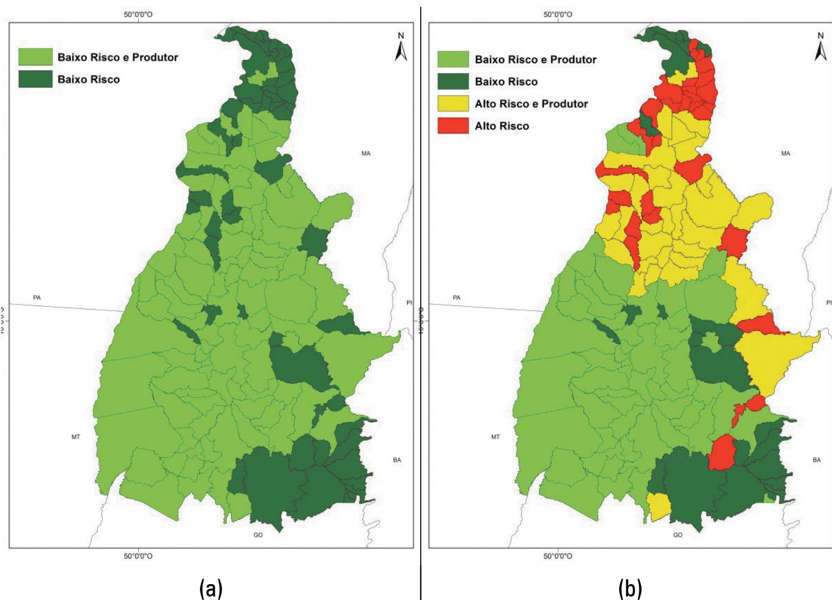
Com base nesses cenários de aumento da temperatura, os pesquisadores observaram que poderia ocorrer de um modo geral, uma redução da área das regiões aptas (ou de baixo risco) para o cultivo dos grãos. Com exceção da cana-de-açúcar e da mandioca, todas as demais culturas sofreriam redução da área de baixo risco e, por consequência, no valor da produção. E tanto outro estudo conduzido para o café em 2001 (PINTO *et. al*., 2008), quanto para as demais culturas em 2008, apontaram forte impacto do aquecimento nas áreas com potencial de produção agrícola, onde o aumento da temperatura promoveria uma elevação das perdas de água das lavouras por evapotranspiração (evaporação do solo e transpiração das plantas) e, consequentemente, um aumento na deficiência hídrica, o que provocaria um aumento de áreas com alto risco climático. Certamente a região sul do Brasil, com predomínio de clima temperado, e algumas microrregiões do sudeste, onde ocorrem geadas e temperaturas baixas que limitam o desenvolvimento de algumas culturas, teriam as áreas de baixo risco até ampliadas.

Mas, qual foi o cenário apresentado para a soja nesse estudo conduzido por Pinto *et al*. (2008)? Utilizando as mesmas palavras dos autores: "... A soja deve ser a cultura mais afetada. No pior cenário, as perdas podem chegar a 40% em 2070, levando a um prejuízo de até R$ 7,6 bilhões." Neste caso, a soja seria afetada especialmente pelo aumento da deficiência hídrica e também pela maior frequência de ocorrência dos veranicos e redução das janelas ou épocas de semeadura.

Segundo o IBGE (2018), a soja apresenta o maior valor de produção da agricultura brasileira e é o principal produto agrícola exportado. E segundo as previsões, em 2050 já teríamos o impacto na redução da área entre

29,6% (otimista ou B2) e 34,1% (pessimista ou A2), em relação à área de cultivo apresentada pelo ZARC atual; podendo chegar a 34,86% no melhor cenário e 41,39% no pior cenário. Em termos de valores (não atualizados aqui) os prejuízos chegariam em R$ 5,47 bilhões (B2) e R$ 6,3 bilhões (A2), e a R$ 6,4 bilhões (B2) e R$ 7,6 bilhões (A2) entre 2050 e 2070, respectivamente (PINTO *et al.*, 2008).

Mas o objetivo aqui é levantar desses estudos, quais seriam os impactos das mudanças climáticas na soja cultivada no Tocantins. As simulações de risco climático para a cultura da soja, utilizando as mudanças de temperatura nos chamados cenários otimista (B2) e pessimista (A2) utilizaram como referência as temperaturas registradas na década de 90 para o mapear o cenário atual. Nesta década, de maneira geral e considerados os diversos ciclos de cultivares e tipos de solo, todos os municípios do estado do Tocantins apresentavam períodos de semeadura com baixo risco (Figura 2a). Mas este estudo previa alguma alteração das áreas de alto risco já para as décadas de 2010 e 2020, mesmo para o cenário otimista, afetando os municípios localizados na região nordeste do Estado, aqueles localizados na fronteira com o estado do Maranhão. Campos Lindos, grande produtor de grãos, seria um dos munícipios afetados. Quando avaliadas as projeções para 2050 e 2070, foi observado que tanto para 2050 quanto para 2070 o terço norte do Estado já apresentaria alto risco de perda de produção da soja, tanto para o cenário otimista quanto para o pessimista (Figura 2b).



Fonte: Adaptado de Pinto *et al.* (2008)

Figura 2 - Zoneamento de risco climático para a cultura da soja no Tocantins com base em dados da década de 90 (a) e simulações para a década de 2050 para os cenários A2 e B2 (b)

Em outro estudo conduzido também pela mesma da Embrapa e Unicamp, foram realizadas simulações de épocas de semeadura da soja para o mês de novembro, mês que concentra as melhores épocas de semeadura e maior área de baixo risco em todo no Brasil. Foram consideradas a elevação da temperatura entre 1ºC e 5,8ºC e redução das chuvas entre 0 e 15%, com simulações para os três tipos de solos e utilizando a mesma metodologia aplicada para o zoneamento agrícola do Brasil. Os resultados deste estudo não apresentaram qualquer impacto para o cultivo da soja no Tocantins.

Em 2015, novo estudo foi realizado para avaliar o impacto das mudanças climáticas na cultura da soja (MONTEIRO *et al.*, 2005). Neste estudo, os pesquisadores utilizaram dados climáticos medidos entre 1976 até 2005 para elaborar o ZARC representativo do cenário atual. Feito isso, substituiu-se no modelo agrometeorológico, de análise regional de risco agroclimático, os dados atuais de chuva e temperatura por outros simulados pelos modelos regionalizados de previsão de clima, Eta-HadGen2ES e Eta-Miroc5, para o período 2011-2040, disponibilizados pelo CPTEC/INPE.

Mas para gerar o quinto relatório (AR5), o IPCC passou a utilizar uma forma nova para representar os cenários de mudanças climáticas, criando categorias ou cenários de emissões gases de efeito estufa, mas agora convertidos em carbono equivalente (CO_2 eq), bem como feita sua conversão em energia, designada de forçante radioativa, expressa em $W.m^{-2}$ (Van VUUREN *et al.*, 2011). O cenário RCP 4.5 considera a faixa de emissão de 430 ppm a 480 ppm de CO_2eq e, que se mantidas essa faixa de emissões, ocorreria um impacto de 1,7ºC a 3,2ºC na temperatura média da terra até o final do século; e considerados os níveis atuais de emissões, este cenário é considerado bom, otimista. Por outro lado, foi apresentado o cenário ruim, pessimista, aquele em que as emissões de combustíveis fósseis e demais componentes que constituem os gases de efeito estufa (GEEs), e mantidas os níveis atuais de emissões, nosso histórico de emissões, atingiram-se aproximados 1370 ppm de CO_2 eq no final do século, gerando uma energia de 8.5 $W.m^{-2}$, com acréscimos de 3,2 a 5,4ºC na temperatura média da terra, o chamado cenário RCP 8.5 (IPCC, 2007). É importante ressaltar que em todos os cenários avaliados, o impacto tanto na temperatura quanto na chuva seriam espacialmente variáveis no Estado do Tocantins, como apresentado anteriormente.

Os autores aplicaram a mesma metodologia utilizada para zoneamento agrícola do Brasil, aquela baseada no balanço hídrico da cultura, estudo que analisa as relações entre as variáveis climáticas, especialmente água e temperatura, sobre o rendimento das lavouras, que tem como variável de saída, o índice de satisfação das necessidades de água (ISNA), o indicador de oferta e demanda de água das lavouras, expresso pela relação entre as evapotranspirações real e máxima, ou seja, (EtR/EtM).

Uma observação importante retirada deste estudo, foi a redução das áreas de baixo risco no Brasil, cerca de 39% de redução, para dados obtidos de um dos dois modelos de previsão climática utilizado, o modelo HadGen2ES; enquanto para o outro modelo, o Miroc5, essa redução foi menor, em torno de 11%. Significa que os resultados apresentados pelos diversos modelos são variáveis, e isso se deve às incertezas associadas a cada modelo. Daí a importância do avanço também na pesquisa em aperfeiçoamento dos modelos de previsão de tempo e clima.

E quando avaliados os indicativos apresentados nesse estudo, observa-se que o Estado do Tocantins não será afetado pelas mudanças climáticas até 2040. Mas fica o alerta de que as áreas de alto risco alcançariam suas fronteiras ao sul, limite com o Estado do Maranhão; e à oeste, limite com o Estado da Bahia. Por outro lado, quando analisado o calendário de plantio a partir do primeiro estudo do ZARC, observa-se que a implantação das lavouras se iniciavam já no primeiro decêndio de outubro, e atualmente já não ocorre com a mesma frequência, e as semeaduras da soja têm ocorrido com pelo menos um mês de atraso em relação às décadas de 80 e 90. E este comportamento resulta também na redução da janela de plantio no Estado, exigindo do produtor um maior planejamento especialmente quando se pretende realizar o cultivo de duas safras. O milho safrinha, como opção da segunda safra, por exemplo, apresentaria maior risco de quebra de rendimento por deficiência hídrica.

Considerações Finais

Em cenários de mudanças climáticas, ocorrendo elevação da temperatura e alteração no regime das chuvas, os possíveis impactos sobre o zoneamento agrícola de risco climático da cultura da soja no Estado do Tocantins poderiam ocorrer de duas maneiras. Em uma delas, com redução das áreas indicadas para cultivo com baixo risco. E na segunda forma, na alteração com redução ou deslocamento da janela de semeadura nos diferentes municípios do Estado. A tendência de ocorrência de mais eventos extremos de chuvas e secas são apontadas e, no contexto de variabilidade climática, as mesmas já são observadas atualmente, e contribuem diretamente para redução do rendimento das lavouras de soja no Estado.

As informações aqui reunidas são suficientes para concluir que a elevação da temperatura já observada no cenário atual e com baixa incerteza, já é suficiente para alterar a relação entre oferta e demanda de água na cultura da soja, e com isso alterar o ZARC, restringindo a janela de semeadura nos diversos municípios do Tocantins. E mesmo no cenário de aumento da temperatura em até 5,4ºC, simulado pelos modelos de previsão de clima, os estudos ainda não indicam sensível alteração do ZARC com redução nas áreas de baixo risco, o que permite deduzir que impacto é amenizado pela boa oferta de chuvas no Estado. Mas os resultados não

são conclusivos e indicam a necessidade de ações de monitoramento e atualizações regulares dos estudos de ZARC. Reavaliações ainda serão mais necessárias se consideradas as alterações tanto no volume quanto na distribuição das chuvas, e as essas alterações já são perceptíveis e mensuráveis já no cenário atual.

Questionamentos se fazem necessários. E nesse sentido, esse estudo também aponta para os caminhos: O que fazer perante as certezas (ou incertezas) das previsões e cenários das mudanças climáticas? E algumas respostas foram encontradas: Torna-se imperativo mitigar, reduzindo as emissões dos gases causadores do aquecimento da atmosfera; adaptar e inovar. Como? Por meio do avanço científico e planejamento de plantio baseado em tecnologias de produção sustentáveis, tais como o ZARC aperfeiçoado e adotado como ferramenta de gestão de risco; tecnologias de integração da lavoura de soja com a produção de pastagem (iLP), podendo também acrescentar (integrar) o componente florestal (iLPF), implantação dos sistemas integrados e agroflorestas; desenvolvimento do melhoramento genético para seleção de cultivares produtivas e tolerantes à seca; revegetação e monitoramento das áreas de proteção permanentes, como meio de recuperação e preservação dos recursos hídricos. Mas, é imperativo o desenvolvimento da consciência para mudança de comportamento da sociedade em produção e consumo de alimentos e derivados do uso da terra.

Referências

ASSAD, E. D. (Coord.). **Chuva nos cerrados:** análise e espacialização. Brasília: Embrapa-SPI, 1994. 423 p.

BARON, C.; PEREZ, P.; MARAUX, F. **Sarrazon:** bilan hydrique applique aou zonage. Montpellier: CIRAD-CA, 1996. 26 p.

CÂMARA, G. M. S. **Soja:** tecnologia da produção II. CÂMARA, G. M. S. (Editor). Piracicaba: CÂMARA, G. M. S., 2000. 450p.

CASAROLI, D.; FAGAN, E. B.; SIMON, J.; MEDEIROS, S. P.; MANFRON, P. A.; NETO, D. D.; MARTIN, T. N. Radiação solar e aspectos fisiológicos na cultura de soja-uma revisão. **Revista da FZVA**, v.14, n.2. 2007.

CHOU, SIN CHAN; LYRA, A.; MOURÃO, C.; DERECZYNSKI, C.; PILOTTO, I.; GOMES, J.; BUSTAMANTE, J.; TAVARES, P.; SILVA, A.; RODRIGUES, D.; CAMPOS, D.; CHAGAS, D.; SUEIRO, G.; SIQUEIRA, G.; MARENGO, J. A. Assessment of Climate Change over South America under RCP 4.5 and 8.5 Downscaling Scenarios. **American Journal of Climate Change**, v. 3, p. 512-527, 2014.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Série histórica das safras**. Brasília: CONAB. 2018. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras?start=20>. Acesso em: 11 out. 2019.

DESCHÊNES, O.; GREENSTONE, M. the economic impacts of climate change: evidence from agricultural output and random fluctuations in weather. **American Economic Review**, v. 97, n. 1, p. 354-385. 2007.

DESHMUKH, R.; UMIRA SONAH, H.; PATIL, G.; CHEN, W.; PRINCE, S.; MUTAVA, R.; NGUYEN, H. T. Integrating omic approaches for abiotic stress tolerance in soybean. abiotic stress: molecular genetics and genomics, 50. 2014.

EVANGELISTA, B. A.; SILVA, F. A. M. da; SILVA NETO, S. P. da. Uso das informações agrometeorológicas no monitoramento das culturas agrícolas, tendo como referência a soja. **Anuário da Associação Brasileira de Sementes e Mudas**, Pelotas, p. 38-42, jul. 2013.

FARIAS, J. R. B. Limitações climáticas à obtenção de rendimentos máximos de soja. In: Mercosoja 2011**.** QUINTO CONGRESO DE LA SOJA EN EL MERCOSUR**. Anais...** Rosario, Argentina. 2011.

HASANUZZAMAN, M.; NAHAR, K.; ALAM, M. M.; ROYCHOWDHURY, R.; FUJITA, M. Physiological, biochemical, and molecular mechanisms of heat stress tolerance in plants. **Int. J. Mol. Sci.,** v.14, p. 9643–9684, 2013.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007. **Climate change 2007:** impacts, adaptation and vulnerability. Working Group II Report. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg2.htm>. Acesso em: 03 fev. 2018.

IPCC. Annex I: Atlas of Global and Regional Climate Projections. van OLDENBORGH, G.J.; COLLINS, M.; ARBLASTER, J.; CHRISTENSEN, J.H.; MAROTZKE, J.; POWER, S.B.; RUMMUKAINEN, M.; ZHOU, T. (Eds.). In: **Climate Change 2013**: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. STOCKER, T.F.; QIN, D.; PLATTNER, G.-K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S.K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX, V.; MIDGLEY, P.M. (Eds.) Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, p. 1311-1394. 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1017/CBO9781107415324.029>. Acesso em: 10 fev. 2018.

JALEEL, C. A.; MANIVANNAN, P.; WAHID, A.; FAROOQ, M.; AL-JUBURI, H. J.; SOMASUNDARAM, R.; PANNEERSELVAM, R. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. **Int. J. Agric. Biol.**, v. 11, n. 1, p.100-105. 2009.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara-Koogan, 2004. 452 p.

KÖEPPEN, W. **Climatologia:** con un estudio de los climas de la tierra. Mexico: Fundo de Cultura Econômica, 1948. 478 p.

KOTAK, S.; LARKINDALE, J.; LEE, U.; VON KOSKULL-DÖRING, P.; VIERLING, E.; SCHARF, K. D. Complexity of the heat stress response in plants**. Current Opinion in Plant Biology**, v.10, n. 3, p. 310-316. 2007.

LUMBRERAS, J. F.; CARVALHO FILHO, A.; MOTA, P. E. F. *et al.* **Aptidão agrícola das terras do MATOPIBA***.* Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2015. 48 p. (Documentos/Embrapa Solos, 179).

MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do agronegócio:** Brasil 2014/2015 a 2024/2025*.* Brasília: MAPA. 2015. 108 p.

MITTLER, Ron. Abiotic stress, the field environment and stress combination. **Trends in Plant Science**, v. 11, n. 1, p. 15-19, 2006.

MONTEIRO, J. E. B. A.; NAKAI, A. M.; ASSAD, E. D.; PELLEGRINO, G. Q.; OLIVEIRA, A. F.; PAVÃO, E. M. Risco climático para soja no Brasil em cenários de mudanças climáticas no período 2011-2040. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 11, 2015, Lavras - MG. **Anais...** Agrometeorologia no século 21 - o desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros, Lavras: UFLA - SBA, p.2422-2429. 2015.

PINTO, H. S.; ASSAD, E. D.; EVANGELISTA, S. R. M.; ZULLO JR, J.; OTAVIAN, A. F.; ÁVILA, A. M. H.; EVANGELISTA, B. A.; MARIN, F. R.; JUNIOR, C. M.; PELLEGRINO, G. Q.; COLTRI, P. P.; CORAL, G*.* **A nova geografia da produção agrícola no Brasil**. In: DECONTO, J. G. (Org.). Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil. 2 ed., Campinas: Embrapa, v. 1, p. 24-71. 2008.

RODRIGUES, O.; DIDONET, A. D.; LHAMBY, J. C. B.; BERTAGNOLLI, P. F.; LUZ, J. D. Resposta quantitativa do florescimento da soja à temperatura e ao fotoperíodo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 3, p. 431-437. 2001.

STRECK, C. M.; ALBERTO, N. A*.* Simulação do impacto da mudança climática sobre a água disponível do solo em agroecossistemas de trigo, soja e milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 2, 2006.

TRAN, L. S. P.; MOCHIDA, K. Functional genomics of soybean for improvement of productivity in adverse conditions. **Functional & Integrative Genomics**, v. 10, n. 4, p. 447-462. 2010.

VAN VUUREN, D. P.; EDMONDS, J.; KAINUMA, M; RIAHI, K; THOMSON, A.; HIBBARD, K.; HURTT, G. C.; KRAM, T., KREY, V.; LAMARQUE, J. F.; MASUI, T.; MEINSHAUSEN, M.; NAKICENOVIC, N.; SMITH, S. J.; ROSE, S. K**.** The representative concentration pathways: an overview. **Clim. Change**, v. 109, p.5–31, 2011.